

ЭВОЛЮЦИЯ МИКРОСТРУКТУРЫ СТАЛИ 02Х9К3В2МФБР, ПОДВЕРГНУТОЙ ИСПЫТАНИЮ НА ПОЛЗУЧЕСТЬ ПРИ ТЕМПЕРАТУРЕ 650°С И НАПРЯЖЕНИИ 180 МПа

Федорова И.Ф.

*Руководитель –к.ф.-м.н. Беляков А.Н.,
НИУ «БелГУ», г. Белгород
firishka@yandex.ru*

В настоящее время стали мартенситного класса с содержанием хрома 9-12% широко используются как жаропрочные материалы для производства котлов, роторов и другого оборудования тепловых электростанций [1]. Повышение эффективности энергетических установок возможно за счет увеличения рабочего давления и температуры пара, что предъявляет высокие требования к используемым материалам. Повышение длительной прочности жаропрочных мартенситных сталей достигается путем модификации химического состава и оптимизации термомеханической обработки [1]. Такой подход позволяет улучшить служебные свойства используемых материалов, что должно предоставить возможности для создания теплоэлектростанций нового поколения с ограниченным потреблением невозобновляемых ресурсов и сокращением вредных выбросов в атмосферу. Перспективным направлением увеличения сопротивления ползучести при повышенных температурах является замена карбидов Cr_{23}C_6 более стабильными мелкодисперсными карбонитридами $(\text{Nb}, \text{V})(\text{C}, \text{N})$ за счет снижения концентрации углерода до 0,01-0,02% [2].

Работа посвящена исследованию структурных изменений в стали 02Х9К2В2МФБР после испытания на ползучесть при 650°С и напряжении 180 МПа. Образцы стали 02Х9К3В2МФБР ($\text{Fe}-0,02\text{C}-0,06\text{Si}-0,19\text{Mn}-0,01\text{S}-9,01\text{Cr}-0,41\text{Mo}-0,005\text{Al}-3,24\text{Co}-0,06\text{Nb}-0,21\text{V}-2,21\text{W}-0,01\text{B}-0,063\text{N}$, все в вес.%) были подвергнуты ковке при температуре 1050°С с последующим охлаждением на воздухе и отпуску при 750°С в течение 3 часов. Структуру стали исследовали с помощью просвечивающей (ПЭМ) и растровой электронной микроскопии (РЭМ). Частицы вторичных фаз идентифицировали методами микродифракции и энергодисперсионного анализа.

Микроструктура стали после отпуска (рис. 1) состоит из реечного мартенсита с высокой плотностью дислокаций около $4 \times 10^{14} \text{ м}^{-2}$. Среднее расстояние между высокоугловыми границами составляет 5 мкм, средний поперечный размер реек – 240 нм. Отпуск приводит к однородному выделению по всему объему мартенситной матрицы дисперсных карбонитридов $(\text{V}, \text{Nb})(\text{C}, \text{N})$ и выделению по границам зерен и реек сравнительно крупных карбидов Cr_{23}C_6 (рис. 2).

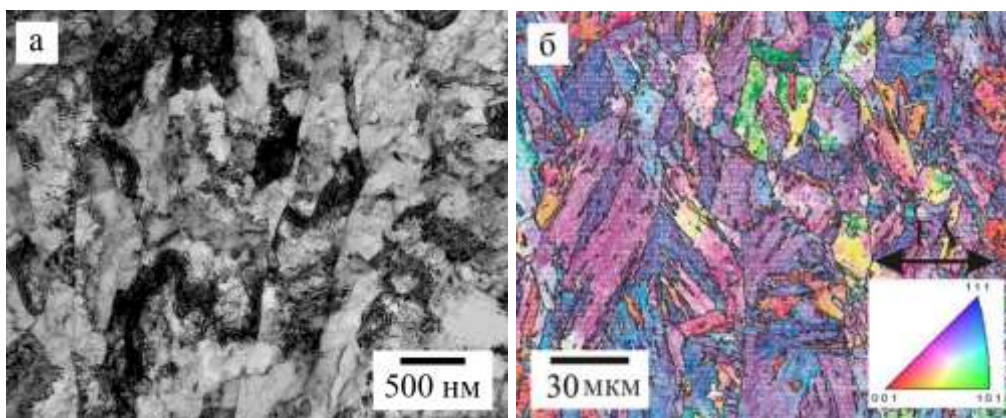


Рис. 1 – Микроструктура стали 02X9K3B2MФБР после горячейковки и отпуска: ПЭМ (а), РЭМ (б).

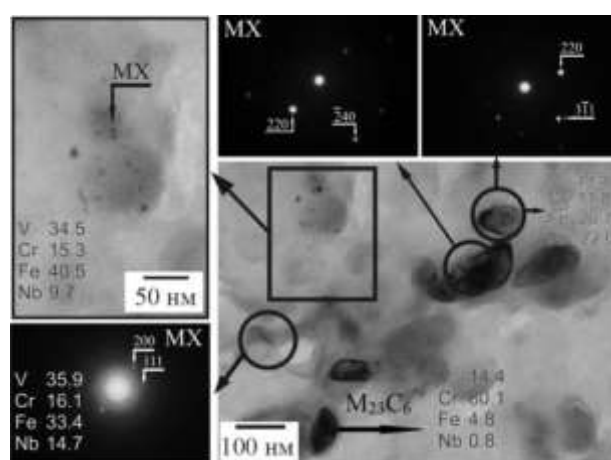


Рис. 2 – Дисперсные частицы, образовавшиеся после отпуска стали 02X9K3B2MФБР. Химический состав частиц указан в ат.%.

Микроструктура стали после испытания на ползучесть при температуре 650°C и напряжении 180 МПа в течении 501 часа характеризуется увеличением размеров отдельных структурных составляющих и выделением фаз Лавеса (рис. 3, 4). Дискообразные карбонитриды (V,Nb)(C,N) остаются неизменными в процессе ползучести, средний размер шарообразных карбонитридов (V,Nb)(C,N) составляет менее 40 нм после испытания, в то время как средний размер карбидов Cr₂₃C₆ увеличивается в 1,5 раза и составляет более 150 нм (табл. 1).

Высокая стабильность мелкодисперсных карбонитридов типа MX в стали 02X9K3B2MФБР способствует увеличению сопротивления ползучести при 650°C, по сравнению со сталью 10X9B2MФБР, время до разрушения которой вдвое меньше (около 250 часов) при тех же условиях испытания [3].

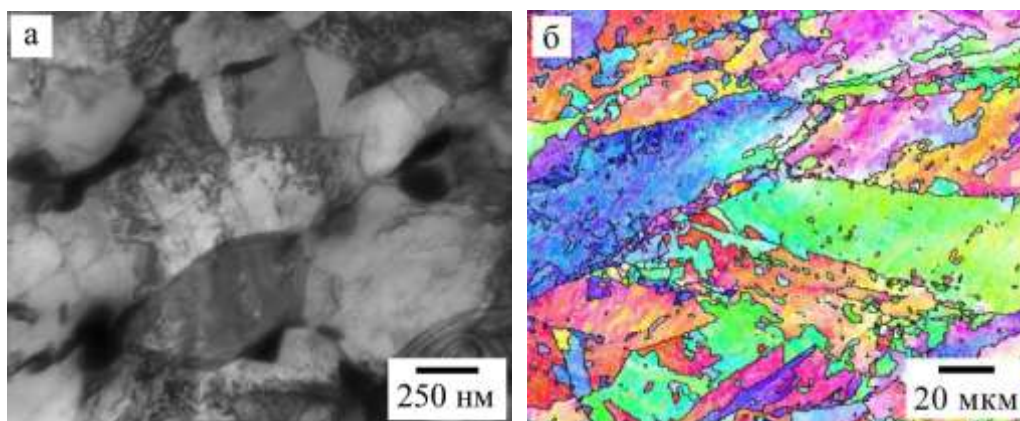


Рис. 3 – Микроструктура стали 02Х9К3В2МФБР после испытания на ползучесть при температуре 650°C и напряжении 180 МПа: ПЭМ (а), РЭМ (б).

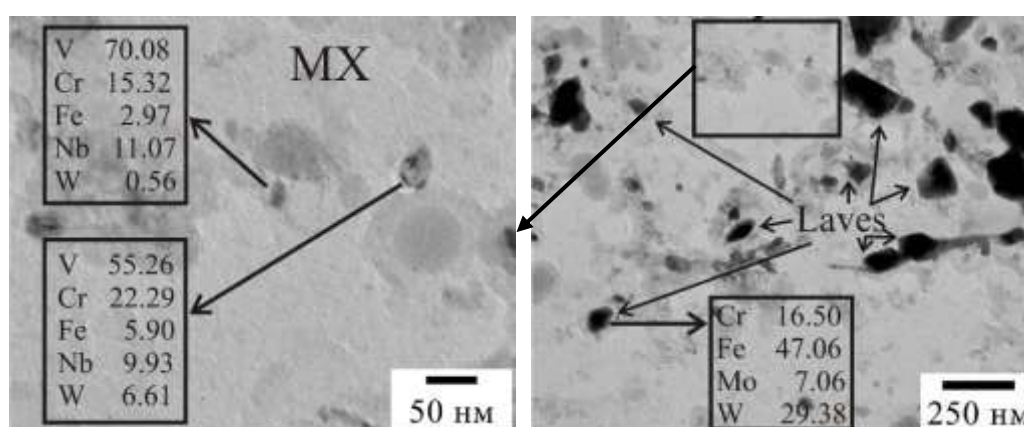


Рис. 4 – Дисперсные частицы в стали 02Х9К3В2МФБР после испытания на ползучесть в течении 501 часа. Химический состав частиц указан в ат.%.
 MX

Таблица 1 – Размеры частиц вторичных фаз в стали 02Х9К3В2МФБР после отпуска и после испытания на ползучесть в течение 501 часа

Состояние	MX, нм			M ₂₃ C ₆ , нм	Фаза Лавеса, нм
	Диско-образные	Шаро-образные	Крупные		
Отпуск	15±4 × 3±1	10±5	90±26	110±24	-
Ползучесть	15±5 × 3±1	36±18		154±43	155±64

Литература.

1. Кайбышев Р.О., Скоробогатых В.Н., Щенкова И.А. ФММ 2009, т. 108, с. 1-15.
2. M. Taneike, F. Abe, K. Sawada. Nature, 2003, vol. 424, 431 pp. 294-296.
3. NIMS Creep Data Sheet, No. 48, National Institute for Materials Science, Japan, 2002.